昆 虫 学 报 Acta Entomologica Sinica, February 2006, 49(1): 100 – 105　　ISSN 0454-6296

美洲斑潜蝇幼虫潜叶为害对几种作物光合作用的影响

张慧杰,段国琪*,张战备,梁哲军,张冬梅,许　琦,王晓民,许爱玲,刘　珍

(山西省农业科学院棉花研究所,山西运城　044000)

摘要:**使用 CI – 310 便携式光合作用测定系统研究了美洲斑潜蝇幼虫为害对几种作物光合作用的影响。结果表明,随着叶面积受害级别的增高,蓖麻和菜豆的光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)和气孔限制值(Ls)总体呈下降趋势,不同受害级别与胞间 CO_2 浓度(Ci)的变化呈正相关。美洲斑潜蝇幼虫潜食蓖麻和黄瓜叶片中的栅栏组织后,叶片中叶绿素 a、b 和叶绿素总量都较对照减少,并且随着潜食级别的增高,减少量逐渐增大。叶面积受害级别与叶片的叶绿素总量之间呈高度负相关,其相关系数分别为 $r = -0.93$(蓖麻)和 $r = -0.95$(黄瓜)。菜豆、黄瓜和丝瓜的叶肉被害后,不同受害级别叶片的鲜重变化无规律性。**

关键词:**美洲斑潜蝇;潜叶;受害级别;作物;光合作用**

中图分类号:Q966　　文献标识码:A　　文章编号:0454-6296(2006)01-0100-06

Effect of leaf mining by *Liriomyza sativa* larvae on photosynthesis of some crops

ZHANG Hui-Jie, DUAN Guo-Qi*, ZHANG Zhan-Bei, LIANG Zhe-Jun, ZHANG Dong-Mei, XU Qi, WANG Xiao-Min, XU Ai-Ling, LIU Zhen (Cotton Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

Abstract: CI-310 portable photosynthesis system was used to measure effects of leaf mining by *Liriomyza sativae* larvae on photosynthesis of some crops. The results showed that with the increase in the mined area grade of leaf by miners, the photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs), transpiration rate (Tr) and stomatal limiting value (Ls) in castorbean *Ricinus communis* and kidney bean *Phaseolus vulgaris* generally decreased. Positive relations existed in the above two crops between different treatment grades and intercellular CO_2 concentration (Ci) variation. After the palisade tissue of castorbean and cucumber *Cucumis sativus* leaves were mined by *L. sativae* larvae, their chlorophyll a, b and total chlorophyll contents were decreased compared with that of the control; and the higher the mined grade, the greater the decrement. There were negative relations between the mined grade of leaf and total chlorophyll contents, their coefficient of correlation was −0.93 for castorbean and −0.95 for cucumber. After the mesophyll of kidney bean, cucumber and suakwa vegetable sponge *Luffa cylindrica* were mined, the leaf fresh weights of different grades showed no regularity in variation.

Key words: *Liriomyza sativae*; leaf mining; mined grade; crops; photosynthesis

美洲斑潜蝇 *Liriomyza sativa* Blanchard 是一种多食性潜叶害虫。该虫自 1993 年在我国发现后,目前除西藏自治区外,全国均有分布(郝树广等,2003),致使作物减产 30% ~ 50%,甚至绝收,给我国蔬菜花卉生产等造成了巨大的经济损失。我国对美洲斑潜蝇的研究多定位在地理分布、寄主种类、寄主适合度、光周期、生命表、天敌种类、生活史与习性、产量损失与经济阈值、应急防治技术、化学生态学和抗寒

基金项目:山西省科技厅资助项目(961013)

作者简介:张慧杰,男,1957 年生,河南省偃师人,研究员,主要从事昆虫生态学研究

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 0359-2160972; E-mail: duanguoqi001@163.com

收稿日期 Received: 2005-06-14; 接受日期 Accepted: 2005-10-30

性等方面（邱名榜等，1999；Zhao and Kang，2000，2002a，2002b；张慧杰等，2000a，2000b，2004；曾益良等，2003；庞保平等，2004）。有关潜叶蝇为害对植物光合作用的影响，Johnson 等（1983）和 Parrella 等（1985）年发表了他们使用双同位素气孔计（dual-isotope porometer）测定的美洲斑潜蝇幼虫潜食对西红柿小叶、三叶草斑潜蝇 *L. trifolii* 和拉美斑潜蝇 *L. huidobrensis* 幼虫潜食对菊花叶片光合速率影响的报告；刘元明（2000）在《植物检疫手册》一书中举隅了美洲斑潜蝇为害后植物光合速率下降的个别数据。可能由于研究难度较大和研究手段的制约，在众多的文献中只是概念性地叙述了美洲斑潜蝇为害对植物光合作用的影响，但无详细的研究结果（陈乃中和肖良，1995；陆庆光，1997；王春林，1997）。

植食性昆虫对作物产量的影响一直是农业昆虫学家所关心的问题。害虫管理计划的发展就是一个例证，其主要目标是将害虫控制在农作物的耐害性水平之下（康乐，1996）。因此，进行作物产量损失评估，确定作物的耐害水平是制定害虫种群经济阈值的主要依据。同时在确定准确密度处理水平之前，必须明确植物生理抵抗节肢动物取食为害的能力（Sances *et al.*，1979）。

由于对叶菜类植物来说，美洲斑潜蝇取食为害的是作物的最终收获部分或处于最终生长时期的收获部分，害虫的为害率接近或等于减产率。而对于瓜果类作物来说，其取食为害的是作物的非收获部分，只有虫量达到较高水平时才会造成减产，减产率明显小于叶组织的被害损失率。通常对害虫直接为害所造成的损失评价比较简易，而对其间接为害所导致的损失评价难度较大（盛承发，1993）。因此，明确美洲斑潜蝇幼虫为害对植物光合生理的影响，对定量描述该虫间接为害所导致的产量损失有着重要的意义。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试作物（名称，品种，生育期，叶片部位）： 蓖麻 *Ricinus communis*，98-2，花果期，主茎倒数第 5 叶；丝瓜 *Luffa cylindrica*，农家品种，结瓜期，主蔓中部叶；黄瓜 *Cucumis sativus*，珑玉，结瓜期，主蔓中部叶；菜豆 *Phaseolus vulgaris*，农家品种，花期，主蔓中部叶。以上作物均为美洲斑潜蝇的嗜好寄主，将其种植在自然条件下，通过人工接虫的方法（张慧杰等，2000b）感受虫害。除黄瓜的播种时间为 2004 年 6 月中旬、菜豆的播种时间为 2005 年 4 月上旬外，其余作物的播种时间均为 2004 年 4 月上旬。播种地点：山西省农科院棉花研究所农场。

1.1.2　取叶器： 直径为 0.7 cm 的打孔器。

1.2　方法

1.2.1　美洲斑潜蝇幼虫为害对植物光合作用的影响： 2004 年 8 月中旬和 2005 年 8 月下旬，于接虫后 10 天选取供试的蓖麻和菜豆叶片（阳光直射下、虫害程度较重的叶片），于 3～4 pm 在自然条件下在同一叶片用 CI-310 型便携式光合作用测定系统（美国 CID 公司生产，配带 CO_2 进气缓冲桶的开路系统）测定美洲斑潜蝇不同为害级别叶片的光合速率（Pn）、气孔导度（Gs）、胞间 CO_2 浓度（Ci）和蒸腾速率（Tr）。气孔限制值（Ls）按 Berry 的方法（苏培玺等，2002）计算，其公式为：$Ls = 1 - Ci/Ca$（Ca 即大气 CO_2 浓度）。测定资料及微环境参数直接存入仪器控制台电脑，在 Microsoft Excel 2000 程序中读取资料并分析。美洲斑潜蝇幼虫为害程度分级参照文献介绍的标准（尹新明等，1999；贤振华等，2000），即：0 级（实验对照），叶面上无潜道；1 级，潜食叶面积（MAL）小于测试叶面积的 10%；2 级，MAL 占测试叶面积的 10%～20%；3 级，MAL 占测试叶面积的 20%～30%；4 级，MAL 占测试叶面积的 30%～40%；5 级，MAL 占测试叶面积的 40% 以上。所测叶片均为阳生叶，每个级别重复测定 3 次。

1.2.2　美洲斑潜蝇幼虫为害对植物叶片叶绿素含量的影响： 2004 年 8 月中旬，于接虫后 14 天在田间选取供试的蓖麻和黄瓜虫害叶，放入保温壶立即带回实验室。在同一叶片取不同受害级别的叶片组织（避免取叶缘、叶基、中脉和侧脉组织），用于叶绿素含量测定。按丙酮提取法（张志良和瞿伟菁，2003），用日本产 UV-160 型紫外可见分光光度计测定叶绿素含量。

1.2.3　美洲斑潜蝇幼虫为害对植物叶片鲜重和干重的影响： 按 1.2.2 中所述的方法，于接虫后 15 天选取供试的黄瓜、菜豆和丝瓜叶，在同一叶片用打孔器获取不同受害级别的叶圆片（重复 3 次），称其鲜重。然后将叶圆片编号，放入称量瓶，在 105℃ 烘箱中烘 30 min，然后于 80℃ 下烘干至恒重。称量仪器为日本 A&D 公司产 GR-202 型电子分析天平，读数精度 0.1 mg。

1.2.2 和 1.2.3 中的取叶部位和 MAL 分级标准同 1.2.1 中的相应内容。

1.2.4　数据处理与统计分析： 实验结果采用

Duncan 多重比较和回归分析。回归和相关分析时，MAL 的级别 x_i（$x_i = 0,1,2,\cdots,5$）转变为 $x_i + 1$。

2 结果

2.1 幼虫潜食对植物叶片叶绿素含量的影响

美洲斑潜蝇幼虫潜食栅栏组织后，叶片中叶绿素 a、b 以及叶绿素总量都较对照减少，并且随着潜食级别的增高，减少量逐渐增大（图 1）。当虫害达到 5 级时，蓖麻、黄瓜叶片的叶绿素总量仅占对照的 72.3%和 72.8%。统计分析表明，潜食面积级别（x）与叶片的叶绿素总量（y）之间呈高度负相关，其相关系数分别为 $r_1 = -0.93^{**}$（蓖麻）（ * 表示差异显著，$P < 0.05$；**表示差异极显著，$P < 0.01$，下同）和 $r_2 = -0.95^{**}$（黄瓜）。二者之间的回归关系可用下式表达：$y_1 = 2.32 - 0.10x \pm 0.32$（蓖麻）；$y_2 = 1.87 - 0.09x \pm 0.27$（黄瓜）。

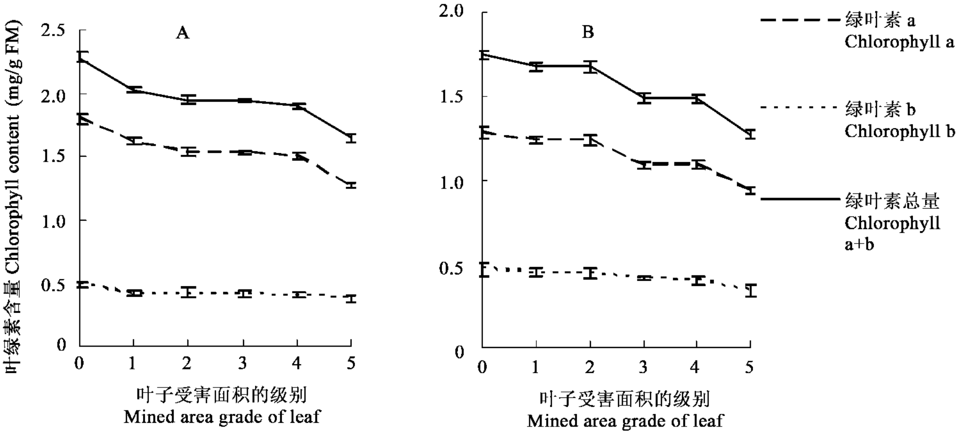

图 1 幼虫潜食对蓖麻（A）和黄瓜（B）叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of leaf mining of *L. sativae* larva on contents of chlorophyll in castorbean (A) and cucumber (B) leaves

2.2 美洲斑潜蝇幼虫潜食叶片对植物光合生理参数的影响

随着受害级别的增高，蓖麻和菜豆的光合作用速率和气孔限制值总体呈下降趋势（个别级别除外，如蓖麻受害 1 级的 Pn 和 Ls > 0 级的 Pn 和 Ls）（表 1）。经检验其相关系数均为极显著，可建立以下回归方程式：

蓖麻：$y_{Pn} = 11.7 - 1.49x \pm 0.79$，$r = -0.97^{**}$；

$y_{Ls} = 0.016 - 0.002x \pm 0.001$，$r = -0.970^{**}$；

菜豆：$y_{Pn} = 12.14 - 1.21x \pm 0.83$，$r = -0.95^{**}$；

$y_{Ls} = 0.016 - 0.002x \pm 0.002$，$r = -0.884^{*}$。

蓖麻和菜豆的 Gs 和 Tr 也基本随其受害级别的增高而降低。经检验，它们之间的相关系数均为极显著，可用以下函数式表达二者之间的回归关系：

蓖麻：$y_{Gs} = 193.99 - 25.23x \pm 26.79$，$r = -0.89^{**}$；

$y_{Tr} = 3.30 - 0.30x \pm 0.43$，$r = -0.83^{**}$；

菜豆：$y_{Gs} = 242.73 - 30.06x \pm 12.87$，$r = -0.98^{**}$；

$y_{Tr} = 6.81 - 0.68x \pm 0.42$，$r = -0.96^{**}$。

另外由表 1 还得知，两种植物不同受害级别与其 Ci 变化呈正相关，它们之间的回归方程式为：

蓖麻：$y_{Ci} = 355.27 + 4.03x \pm 5.31$，$r = 0.845^{**}$；

菜豆：$y_{Ci} = 357.78 + 4.36x \pm 2.05$，$r = 0.98^{**}$。

2.3 幼虫潜食对植物叶片鲜重和干重的影响

统计分析结果表明（表 2），幼虫潜食菜豆、黄瓜和丝瓜的叶肉后，不同受害级别叶片的鲜重变化无规律性。另外，有些作物受害后部分级别的鲜重甚至大于对照。3 种作物不同处理间的叶片干重均无显著差异（$P > 0.05$）。

3 讨论

Parrella 等（1985）的实验是以叶片上幼虫潜道的数目划分受害级别的。而 Johnson 等（1983）先在田间以单叶上的潜道数划分级别，然后在室内确定不同级别的潜食面积。Johnson 等（1983）和张慧杰等（2000a）曾报道，美洲斑潜蝇幼虫的单个潜道面积变化很大，因此以潜食面积划分虫害级别较为准确。目前，除尹新明等（1999）、贤振华等（2000）等许多文献外，我国农业部（1996）颁布的美洲斑潜蝇调查方法中也规定了以虫道面积划分虫害级别的标准。

Johnson 等（1983）按西红柿单叶（小叶）虫道数（0,1,2,…,6 或 8 个）划分的 8 个处理，如换算成被

表 1　美洲斑潜蝇幼虫潜食叶片对蓖麻和菜豆光合生理参数的影响

Table 1　Effect of leaf mining by *L. sativae* larvae on photosynthetic parameters of castorbean and kidney bean

供试植物 Crop tested	叶子受害面积的级别 MAGL	光量子密度 PFD (μmol/m² s)	光合速率 Pn (μmol/m² s)	气孔限制值 Ls	气孔导度 Gs (mmol/m² s)	蒸腾速率 Tr (mmol/m² s)	胞间 CO_2 浓度 Ci (μmol/mol)	大气 CO_2 浓度 Ca (μmol/mol)
蓖麻	0	828.1	9.733 ± 0.699 a	0.0130 ± 0.0010 a	189.3 ± 16.7 a	3.30 ± 0.29 a	358.3 ± 1.0 c	363.1
Castorbean	1	821.6	9.767 ± 0.876 a	0.0131 ± 0.0012 a	140.4 ± 4.8 b	2.63 ± 0.03 ab	358.1 ± 1.2 c	362.9
	2	816.2	6.733 ± 0.393 b	0.0089 ± 0.0005 b	114.8 ± 36.4 b	2.37 ± 0.58 bc	371.4 ± 3.8 b	374.8
	3	829.2	5.200 ± 0.850 c	0.0070 ± 0.0011 c	49.8 ± 4.2 c	1.37 ± 0.19 d	377.6 ± 0.7 a	380.3
	4	823.4	5.000 ± 0.379 c	0.0065 ± 0.0005 c	74.7 ± 12.2 c	1.97 ± 0.26 bcd	376.7 ± 2.7 a	379.2
	5	833.1	2.467 ± 0.290 d	0.0033 ± 0.0005 d	65.1 ± 11.2 c	1.77 ± 0.24 cd	374.1 ± 0.6 ab	375.4
菜豆	0	868.5	11.867 ± 2.188 a	0.0164 ± 0.0025 a	219.2 ± 18.1 a	6.47 ± 0.36 a	362.5 ± 3.4 c	367.1
Kidney bean	1	858.3	9.033 ± 1.214 ab	0.0104 ± 0.0017 ab	182.8 ± 21.6 ab	4.87 ± 0.16 b	368.5 ± 2.1 c	371.8
	2	869.6	7.567 ± 1.713 bc	0.0089 ± 0.0009 bc	155.8 ± 10.3 b	5.13 ± 0.26 b	368.7 ± 1.3 c	372.4
	3	849.2	7.467 ± 1.802 bc	0.0073 ± 0.0009 cd	104.8 ± 9.4 c	3.73 ± 0.17 c	372.9 ± 5.1 b	376.4
	4	872.5	6.767 ± 0.784 c	0.0072 ± 0.0003 cd	84.8 ± 16.9 d	3.47 ± 0.21 c	381.0 ± 5.4 a	384.1
	5	850.1	4.800 ± 0.751 d	0.0064 ± 0.0002 d	77.8 ± 18.4 d	2.80 ± 0.16 d	384.7 ± 3.1 a	385.3

注：表中数据为平均值 ± 标准误；根据新复极差测验，同一列标有不同字母的平均数表示其差异显著（$P < 0.05$）。下同。Values in table are mean ± *SE*; means of the same crop tested in the same column followed by different letters differed significantly ($P < 0.05$) by Duncan's multiple test. The same for Table 2. MAGL: Mined area grade of leaf; PFD: Photon flux density.

表 2　幼虫潜食对菜豆、黄瓜和丝瓜叶片鲜、干重的影响

Table 2　Effect of leaf mining by *L. sativae* larvae on fresh and dry weight of leaf in kidney bean, cucumber and suakwa vegetable sponge blades

叶子受害面积的级别 Mined area grade of leaf	鲜重 Fresh weight (mg/cm²)			干重 Dry weight (mg/cm²)		
	菜豆 Kidney bean	黄瓜 Cucumber	丝瓜 Suakwa vegetable sponge	菜豆 Kidney bean	黄瓜 Cucumber	丝瓜 Suakwa vegetable sponge
0	6.98 ± 0.05 cd	11.32 ± 0.05 a	13.28 ± 0.10 b	2.25 ± 0.09 a	3.54 ± 0.09 a	3.21 ± 0.07 a
1	7.98 ± 0.08 ab	11.52 ± 0.10 a	12.53 ± 0.09 bc	2.31 ± 0.08 a	3.62 ± 0.09 a	3.12 ± 0.03 a
2	7.40 ± 0.07 bc	10.92 ± 0.05 a	13.20 ± 0.09 b	2.31 ± 0.09 a	3.70 ± 0.03 a	2.96 ± 0.06 a
3	8.01 ± 0.05 a	9.74 ± 0.02 b	14.21 ± 0.20 a	2.40 ± 0.05 a	3.56 ± 0.03 a	3.32 ± 0.03 a
4	6.88 ± 0.10 cd	11.50 ± 0.18 a	12.35 ± 0.09 cd	2.19 ± 0.09 a	3.60 ± 0.09 a	3.17 ± 0.06 a
5	6.55 ± 0.11 d	9.05 ± 0.04 b	11.22 ± 0.03 d	2.18 ± 0.12 a	3.34 ± 0.03 a	2.71 ± 0.03 a

潜食叶面积占全叶面积的百分率，即 0 ~ 20%。他们所研究的最严重处理仅相当于本文中的受害 2 级。另外 Johnson 等指出：被全部潜食的叶表组织，其光合速率较健叶减少约 62%。本文所测试的受害 5 级叶面积，实际害虫潜食面积 < 100%，而在 50% ~ 60%之间。我们测定结果，蓖麻、黄瓜和菜豆受害 5 级的光合速率较健组织减少幅度为 52.99% ~ 74.65%，平均值为 60.52%。显然 Johnson 等的结果偏低。

Johnson 等还认为，美洲斑潜蝇幼虫对西红柿小叶光合速率的影响，不单是对直接潜食面积孤立的影响，而包括对周围无虫道组织的影响。如在潜食面积约 18%的西红柿小叶上，单独由潜食造成的直接受害组织，其光合速率减少 10%。而把潜食对邻近无虫道组织的影响包括在内，在潜食面积仅有 4%的小叶上，光合速率同样减少 10%；18%的潜食为害与全部被潜食的小叶，它们的光合速率减少量相等。我们所测试的 1 ~ 5 级处理，都把害虫潜食的直接为害和对周围无潜道组织的间接影响综合考虑在内。

美洲斑潜蝇对寄主造成的虫伤有 3 种，即刻点、潜道和虫孔。通常认为虫伤会加剧叶子的蒸腾作用，引起未受害细胞的失水。但由表 1 可知，蓖麻和菜豆的 Gs 和 Tr 基本随受害级别的增高而下降（表 1）。这可能是不同的测定时间所得出的不同结果。美洲斑潜蝇刚为害后，寄主的蒸腾作用可能会增高，但是随着虫伤周围细胞的失水，Gs 和 Tr 会逐渐变弱。

幼虫的潜道除降低栅栏组织细胞的叶绿素含量外，还直接造成细胞数目的减少，组织解体，并导致

光合产物的运输困难。所以,被害叶的 Pn 和 Ls 明显下降(表 1)。受害叶下表皮上显露出的焦枯斑,与幼虫对叶肉组织的机械性破坏和海绵组织就近得不到充足的光合产物有密切的关系。成虫造成的刻点也常常引起更多细胞的破坏,降低叶片的光合作用。本文虽然直观上测定的是潜道的 Gs、Tr、Pn 和 Ls,但实际上包括刻点和虫孔的 Gs、Tr、Pn 和 Ls。由于刻点和虫孔的伤面较小,所以与潜道综合进行了测定。

有报道,叶片被斑潜蝇潜食后,植物的主要反应是增生和过度生长(康乐,1996)。该现象在本研究得到证实。如本文 2.3 中,有些受害较轻的叶组织其鲜重大于健康组织。

致谢 作者同单位的张丽萍和张贵云两位同志给本研究提供了外文资料,在此谨致诚挚的谢意。

参考文献(References)

Chen NZ, Xiao L, 1995. Spread and damage of vegetable leafminer, *Liriomyza sativae* (Diptera:Agromyzidea). *Plant Quarantine*, 19(1):6-9. [陈乃中,肖良,1995. 蔬菜斑潜蝇的传播与危害. 植物检疫,19(1):6-9]

Hao SG, Chen B, Kang L, 2003. Biological characteristics, adaptive faculty and outbreak mechanism of leafminers. In: Xu RM, Ye WH eds. Biological Invasions: Theory and Practice. Beijing: Science Press. 141. [郝树广,陈兵,康乐,2003. 斑潜蝇的生物学特征、适应能力与暴发机制. 见:徐汝梅,叶万辉主编. 生物入侵——理论与实践. 北京:科学出版社. 141]

Johnson MW, Welter SC, Toscano NC, 1983. Reduction of tomato leaflet photosynthesis rates by mining activity of *L. sativae* (Diptera: Agromyzidae). *J. Econ. Entomol.*, 76(5):1 061-1 063.

Kang L, 1996. Ecology and Sustainable Control of Serpentine Leafminers. Beijing:Science Press. 103-106. [康乐,1996. 斑潜蝇的生态学与持续控制. 北京:科学出版社. 103-106]

Liu YM, 2000. Plant Quarantine Handbook. Wuhan: Hubei Science and Technology Press. 223. 刘元明,2000. 植物检疫手册. 武汉:湖北科学技术出版社. 223.

Lu QG, 1997. Economical importance of the genus *Liriomyza* and their control. *Plant Quarantine*, 11(5):304-305. [陆庆光,1997. 斑潜蝇属的经济重要性与防治. 植物检疫,11(5):304-305]

Pang BP, Bao ZS, Zhou XR, Cheng JA, 2004. Influence of feeding experience on the longevity and fecundity of *Liriomyza sativae* female adults. *Entomological Knowledge*, 41(2):150-152. [庞保平,鲍祖胜,周晓榕,程家安,2004. 取食经历对美洲斑潜蝇雌成虫寿命及生殖力的影响. 昆虫知识,41(2):150-152]

Parrella MP, Jones VP, Youngman RR, 1985. Effect of leaf mining and leaf stippling of *Liriomyza* spp. on photosynthetic rates of *Chrysanthemum*. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 78:90-93.

Qiu MB, Liu YZ, Cheng YQ, Li PJ, Zhao YX, 1999. Study on damage and economic threshold of *Liriomyzae sativae* Blachard in kidney bean and cucumber. *Plant Quarantine*, 13(5):274-276. [邱名榜,刘英智,程玉琴,李培军,赵业霞,1999. 美洲斑潜蝇对芸豆、黄瓜的危害损失及经济阈值模型研究. 植物检疫,13(5):274-276]

Sances FV, Wyman JA, Ting IP, 1979. Physiological responses to spider mite infestation on strawberries. *Environ. Entomol.*, 8:711-714.

Sheng CF, 1993. Relationship of crop yield to feeding injury by indirect insect and mite pests. Ⅰ. Leaf eating insect pests. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 4(2):192-197. [盛承发,1993. 间接性害虫为害与作物产量损失的关系Ⅰ. 食叶害虫. 应用生态学报,4(2):192-197]

Su PX, Du MW, Zhang LX, Bi YR, Zhao AF, Liu XM, 2002. Changes of photosynthetic characteristics and response to rising CO_2 concentration in strawberry in solar greenhouse. *Acta Horticulturae Sinica*, 29(5):423-426. [苏培玺,杜明武,张立新,毕玉容,赵爱芬,刘新民,2002. 日光温室草莓光合特征及对 CO_2 浓度升高的响应. 园艺学报,29(5):423-426]

Wang CL, 1997. Severe damage on melon and vegetable crops by serpentine leafminers and quarantine strategy in China. *Plant Quarantine*, 11 (Suppl.):57-59. [王春林,1997. 斑潜蝇对中国瓜菜作物的严重威胁与检疫对策. 植物检疫,11 (增刊):57-59]

Xian ZH, Deng GR, Li WQ, Zeng DQ, Huang DX, 2000. Studies on the occurrence on cowpea and the control with insecticides of *Liriomyza sativae*. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science*, 19(3):168-174. [贤振华,邓国荣,李伟群,曾东强,黄大兴,2000. 美洲斑潜蝇在豇豆上发生为害规律及药剂防治技术研究. 广西农业生物科学,19(3):168-174]

Yin XM, Yuan GH, Ma CS, 1999. Study on the yield loss of the cowpea harmed by *Liriomyza sativae* and the target of its prevention and control. *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 33(2):194-197. [尹新明,原国辉,马长生,1999. 美洲斑潜蝇对豇豆危害的产量损失及防治指标研究. 河南农业大学学报,33(2):194-197]

Zeng YL, Wang DS, Qin XW, Ren LK, Wang TS, Zhong DH, Liu HM, Wang BY, Wang ZZ, 2003. Efficacy of several carba mate insecticides on *Liriomyza sativae*. *Entomological Knowledge*, 40(5):436-439. [曾益良,王大生,秦小薇,任连奎,王同顺,钟读华,刘红梅,王宝瑛,王忠泽,2003. 几种氨基甲酸酯类杀虫剂对美洲斑潜蝇的防治效果. 昆虫知识,40(5):436-439]

Zhang HJ, Duan GQ, Zhang ZB, Xu AL, Zhang LP, Wang JJ, 2004. Effect of air and soil humidity on development and survival of *Liriomyza sativa*. *Acta Ecologica Sinica*, 24(3):538-541. [张慧杰,段国琪,张战备,许爱玲,张丽萍,王娇娟,2004. 空气和土壤湿度对美洲斑潜蝇发育与存活的影响. 生态学报,24(3):538-541]

Zhang HJ, Li JS, Zhang LP, Liang YH, 2000a. Evalution on the host plant species and fitness to vegetable leafminer and its harmfulness. *Acta Ecologica Sinica*, 20(1):134-138. [张慧杰,李建设,张丽萍,梁岩华,2000a. 美洲斑潜蝇的寄主种类、适合度及其为害性的评价. 生态学报,20(1):134-138]

Zhang HJ, Li JS, Zhang LP, 2000b. Life cycle and habits of *Liriomyza sativae* in Shanxi Province, China. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 6(6):565-571. [张慧杰,李建设,张丽萍,2000b. 美洲斑潜蝇在中国山西的生活史及其主要习性. 应

用与环境生物学报，6(6)：565－571]

Zhao YX，Kang L，2000. Cold tolerance of the leafminer *Liriomyza sativae* (Dipt.，Agromyzidae). *J. Appl. Entomol.*，124：185－189.

Zhao YX，Kang L，2002a. Role of plant volatiles in host plant location of the leafminer，*Liriomyza sativae* (Diptera：Agromyzidae). *Physiogical Entomology*，27：103－111.

Zhao YX，Kang L，2002b. The role of plant odours in the leafminer *Liriomyza sativae* (Diptera：Agromyzidae) and its parasitoid *Diglyphus isaea* (Hymenoptera：Eulophidae)：Orientation towards the host habitat. *Eur. J. Entomol.*，99：445－450.

Zhang ZL，Qu WJ，2003. The Experimental Guide for Plant Physiology. Beijing：Higher Education Press. 62－73. [张志良，瞿伟菁，2003. 植物生理学实验指导. 北京：高等教育出版社. 62－73]

（责任编辑：袁德成）